

UJI PERFORMANCE MEJA GETAR SATU DERAJAT KEBEBASAN DENGAN METODE STFT

Jhon Malta⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratorium Dinamika Struktur Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang.
Email: jhonmalta@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan pengujian performance dengan menggunakan analisis pemrosesan sinyal getaran dari sebuah *prototype* meja getar vertikal yang telah dirancang pada penelitian sebelumnya. Dari sinyal getaran yang terukur dapat diketahui respon dari meja getar tersebut. Secara teoritik, meja getar satu derajat kebebasan akan menghasilkan respon sinyal dalam bentuk sinusoidal sempurna, tapi dari hasil eksperimen, respon yang diperoleh memiliki banyak kandungan frekuensi lain selain frekuensi dari sinyal utama. Jika sinyal ini dianalisis dengan Transformasi Fourier Cepat (*Fast Fourier Transform* atau FFT), maka akan dihasilkan spektrum frekuensi dengan penafsiran bahwa sinyal yang terjadi adalah stasioner dan muncul sepanjang waktu, sehingga kemungkinan adanya perubahan frekuensi dalam rentang waktu pengukuran tidak terdeteksi. Untuk mengatasi hal ini, maka digunakan metode Transformasi Fourier Waktu Pendek (*Short Time Fourier Transform* atau STFT). Dengan metode ini diperoleh hasil dalam bentuk spektrogram dan atau dapat juga ditampilkan dalam 3-Dimensi dengan sumbu Waktu-Frekuensi-Amplitudo. Dari hasil ini, frekuensi sinyal getaran dari meja getar dapat terlihat berapa besaran frekuensi dan amplitudonya dan juga kapan waktu terjadinya.

ABSTRACT

In this research, it has been constructed a prototype of vertical shaking table, then its performance is tested and analyzed using the vibration signal processing. From this vibration signal can be acquainted the response of shaking table. In theoretical, a degree of freedom of vertical shaking table will have a perfectly stationary signal at all times of measuring, in the other side in experimental, the response of this shaking table has some frequencies. When this signal is processed by using Fast Fourier Transform or FFT, it will result the frequency spectrum which appear like a stationary signal at all times of measuring, so the time of vibration in time domain that will be undetected. To overcome the lack of FFT method, the vibration signal can be analyzed by using the Short Time Fourier Transform or STFT method. The results of this method can be viewed in spectrogram. By using this method, the vibration of shaking table can be depicted that occur at certain time.

Keywords: *vertical shaking table 1 DOF, STFT*

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia getaran, telah dikenal sistem getaran bebas dan getaran paksa. Pada sistem getaran paksa, berarti ada gaya gangguan pada sistem yang berasal dari luar. Pada kondisi di lapangan, gangguan dari luar tersebut dapat berasal dari gempa yang dapat memberikan gangguan pada pondasi dari suatu bangunan, atau gangguan akibat kondisi jalan yang tidak rata yang biasanya terjadi pada sistem suspensi kendaraan dan sebagainya [1,3].

Untuk memahami fenomena getaran, salah satu caranya adalah dengan melakukan pengujian pada model getaran. Dalam pengujian model getaran ini seringkali dibutuhkan alat pembangkit sinyal pengganggu (*shaker*) yang dapat diberikan pada sistem. Dalam pengujian tersebut, *shaker* dapat

berfungsi sebagai pemberi gangguan dari luar terhadap sistem [3,4].

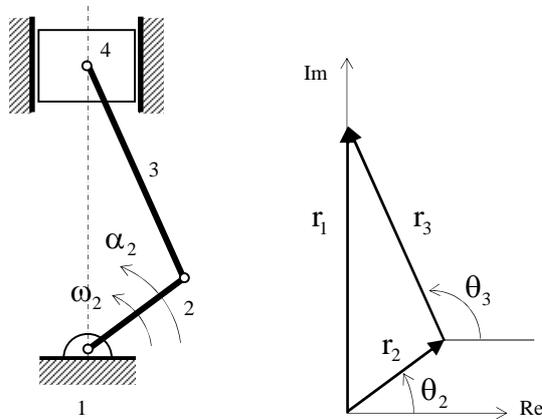
Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sebuah *prototype* meja getar dengan gangguan satu derajat kebebasan dalam arah vertikal. Untuk mengetahui bagaimana performance dari *prototype* tersebut, maka dapat dilakukan dengan cara simulasi dan dengan cara pengukuran getaran. Pada penelitian ini, simulasi dan pengujian dibatasi hanya pada meja dari *prototype*, karena pada bagian inilah yang dianggap paling penting dari sebuah *shaker*. Dari pengujian ini akan diperoleh bagaimana bentuk respon dari meja getar tersebut.

2. MEJA GETAR SATU DERAJAT KEBEBASAN

Meja getar dalam arah vertikal dapat digunakan dalam pengujian getaran untuk memberikan gangguan yang berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan pada tumpuan. Untuk dapat mengetahui berapa perpindahan, kecepatan dan percepatan yang diberikan oleh meja getar tersebut, maka dilakukan pemodelan dan analisis kinematika dan dinamik pada mekanismenya.

2.1 Pemodelan

Untuk menyederhanakan analisis, maka mekanisme meja getar dimodelkan seperti yang terlihat pada “Gambar (1)”. Pada gambar ini terlihat bahwa bentuk model berupa mekanisme torak yang terdiri dari 4 batang. Pada sistem ini diperlukan data kecepatan dan percepatan putaran pada batang-2 [6,7].



Gambar 1 Pemodelan mekanisme meja getar [3]

2.2 Analisis Kinematika

Dalam analisis kinematika pada sistem, akan ditentukan nilai perpindahan, kecepatan dan percepatan dari setiap komponen. Dalam penurunan formulasi berikut ini lebih diutamakan untuk penghitungan perpindahan, kecepatan dan percepatan dari komponen meja getarnya (batang-4). Dari “Gambar (1)” terlihat bahwa komponen batang-4 dimisalkan sebagai vektor R_1 , sedangkan komponen lain yang membentuknya adalah penjumlahan vektor R_2 dengan vektor R_3 , sehingga persamaannya dapat ditulis:

$$R_1 = R_2 + R_3 \quad \dots (1)$$

atau

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \quad \dots (2)$$

Dari “Gambar (1)” dapat diketahui bahwa $\theta_1 = \pi/2$, sehingga

$$r_1 = -i r_2 e^{i\theta_2} - i r_3 e^{i\theta_3} \quad \dots (3)$$

Persamaan (3) tersebut adalah persamaan untuk menghitung perpindahan meja getar. Untuk mendapatkan persamaan kecepatan, maka persamaan (3) diturunkan terhadap waktu.

$$\dot{r}_1 = r_2 \omega_2 e^{i\theta_2} - r_3 \omega_3 e^{i\theta_3} \quad \dots (4)$$

sedangkan untuk mendapatkan percepatan, maka persamaan (3) diturunkan dua kali terhadap waktu atau persamaan (4) diturunkan terhadap waktu, sehingga diperoleh

$$\ddot{r}_1 = r_2 (\alpha_2 e^{i\theta_2} + i \omega_2^2 e^{i\theta_2}) - r_3 (\alpha_3 e^{i\theta_3} + i \omega_3^2 e^{i\theta_3}) \dots (5)$$

Pada persamaan (3), (4) dan (5) terlihat bahwa ada beberapa parameter yang tidak diketahui, yaitu θ_3, ω_3 dan α_3 . Untuk penghitungan θ_3 , persamaan (3) dipecah menjadi dua bagian, yaitu bagian real dan bagian imajiner, kemudian diselesaikan dengan metode eliminasi, sehingga diperoleh

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(-\frac{r_2}{r_3} \cos \theta_2 \right) \quad \dots (6)$$

Untuk menghitung ω_3 dan α_3 , dengan cara yang sama dengan metode di atas, maka persamaan (4) dan (5) menjadi

$$\omega_3 = -\omega_2 \left(\frac{r_2 \sin \theta_2}{r_3 \sin \theta_3} \right) \quad \dots (7)$$

dan

$$\alpha_3 = -\frac{(r_2 \alpha_2 \sin \theta_2 + r_2 \omega_2^2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3^2 \cos \theta_3)}{r_3 \sin \theta_3} \dots (8)$$

2.3 Analisis Dinamik

Dalam penelitian ini, analisis dinamik hanya digunakan untuk menghitung gaya inersia pada meja getar (batang-4). Gaya inersia yang muncul pada batang-4 akan sebanding dengan percepatannya, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_4 = (m_4 \ddot{r}_1) e^{i\pi} \quad \dots (9)$$

Sudut π pada persamaan (9) menunjukkan bahwa arah F_4 berlawanan dengan arah percepatan batang-4.

3. METODE TRANSFORMASI FOURIER WAKTU PENDEK (STFT)

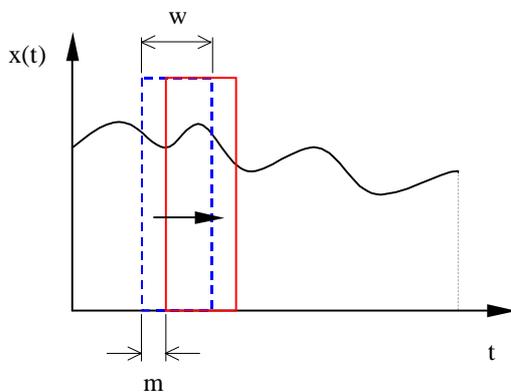
Dalam pengujian getaran seringkali diperoleh data berupa sinyal dalam domain waktu. Untuk mendapatkan sinyal dalam domain frekuensi, maka sinyal dalam domain waktu tersebut ditransformasikan dengan menggunakan Transformasi Fourier (*Fourier Transform*) atau Transformasi Fourier Cepat (*Fast Fourier Transform*) atau yang biasa disingkat dengan FFT. Dalam prakteknya proses transformasi ini dapat

dilakukan dengan perangkat lunak ataupun dengan perangkat keras. Dalam analisis sinyal dengan menggunakan Transformasi Fourier atau Transformasi Fourier Cepat, seringkali informasi waktu terjadinya getaran menjadi hilang, sehingga seolah-olah semua spektrum yang muncul dalam domain frekuensi tersebut terjadi sepanjang rentang waktu pengukuran [2].

Proses transformasi sinyal yang dilakukan dengan metode STFT hampir sama dengan proses FFT, hanya berbeda pada panjang sinyal yang ditransformasikan. STFT memproses sinyalnya secara bertahap dengan panjang sinyal sesuai dengan yang diinginkan. Proses ini dapat dilihat seperti pada “Gambar (2)”. Pada gambar ini diperlihatkan sinyal $x(t)$ dicuplik dengan lebar w . Sinyal yang dicuplik ini kemudian diproses dengan FFT. Selanjutnya fungsi jendela (*window function*) digeser ke kanan sejauh m , dan sinyal $x(t)$ ini dicuplik lagi dengan lebar yang sama. Kemudian sinyal ini diproses lagi dengan FFT. Demikian seterusnya sampai semua data pada sinyal $x(t)$ dapat diproses seluruhnya. Proses transformasi sinyal yang dilakukan dengan metode STFT ini dapat ditulis dalam bentuk formulasi matematik sebagai berikut :

$$\text{STFT}(t', f) = \int_t [x(t) \cdot \hat{w}(t-t')] \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad \dots(10)$$

di mana $x(t)$ adalah sinyal dalam fungsi waktu dan \hat{w} adalah fungsi jendela.



Gambar 2 Proses Transformasi Fourier Waktu Pendek

Hasil yang diperoleh dari STFT adalah tampilan dalam bentuk spektrogram dengan axis Time-Frekuensi. Sedangkan besar amplitudo dinyatakan dengan perbedaan warna dari tampilan.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil simulasi dari mekanisme torak (batang-4) yang diperoleh dari rumusan yang telah dijelaskan sebelumnya. Simulasi ini dibuat dengan bantuan program MATLAB 6.1 dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk respon perpindahan, kecepatan, percepatan dan gaya inersia.

3.1 Hasil Simulasi

Untuk dapat menjalankan simulasi ini diperlukan data-data parameter $r_2, r_3, \theta_2, \omega_2$ dan α_3 untuk analisis kinematika dan data m_{4T} untuk analisis dinamik. Data-data tersebut adalah sebagai berikut [3]:

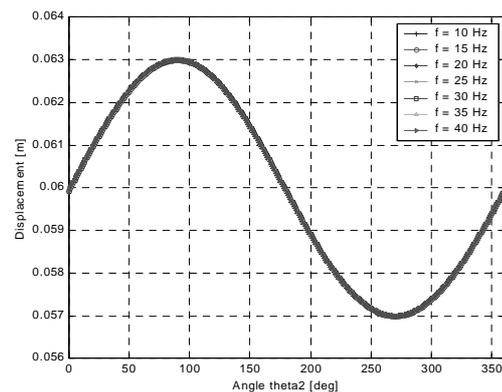
$$r_2 = 0.003 \text{ m}$$

$$r_3 = 0.060 \text{ m}$$

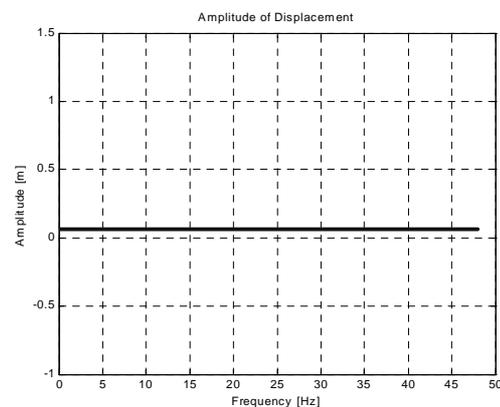
$$\alpha_2 = 0$$

$$m_{4T} = 3.138 \text{ kg}$$

Untuk data θ_3 , nilainya diinputkan dari $0-360^\circ$ dengan $\Delta\theta_3 = 1^\circ$ dengan acuan sumbu x positif sebagai 0° dan arah putaran berlawanan arah jarum jam, sedangkan ω_2 divariasikan dengan frekuensi mulai dari $f = 10\text{Hz}$ sampai dengan $f = 40\text{Hz}$. Hasil simulasi ini dapat dilihat seperti yang terlihat pada “Gambar (3), (4) dan (5)”.



(a)

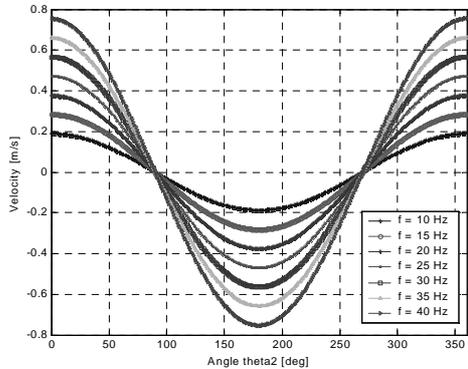


(b)

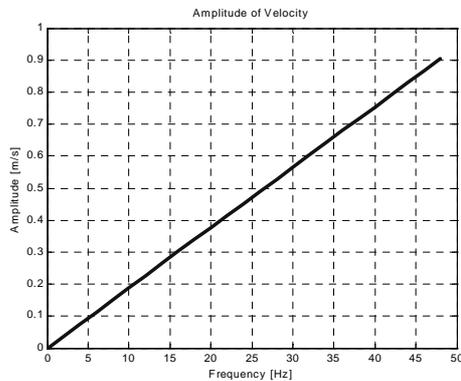
Gambar 3 (a) Respon perpindahan dan (b) pengaruh frekuensi putaran terhadap amplitudo perpindahan

Dari “Gambar (3a)” terlihat bahwa perubahan sudut pada poros utama memberikan respon perpindahan

yang berupa fungsi sinus, tetapi perubahan frekuensi putaran pada poros utama tidak berpengaruh terhadap besar respon perpindahan. Hal ini akan lebih jelas terlihat pada “Gambar (3b)”, dimana amplitudo perpindahan bernilai konstan pada setiap frekuensi putaran poros utama.



(a)

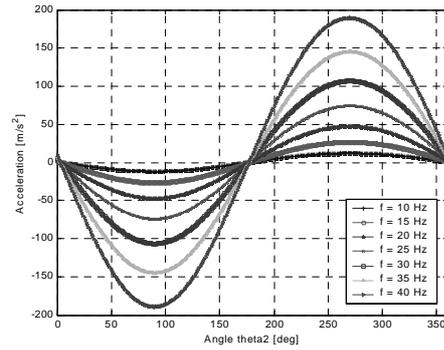


(b)

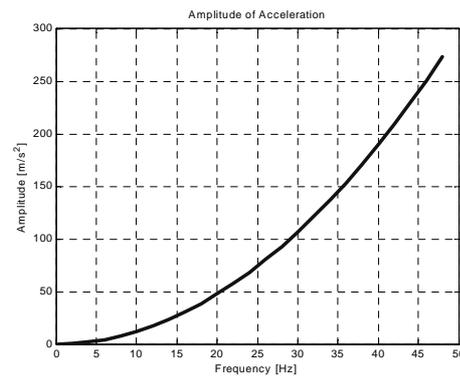
Gambar 4 (a) Respon kecepatan dan (b) pengaruh frekuensi putaran terhadap amplitudo kecepatan

Dari “Gambar (4a)” terlihat bahwa perubahan sudut pada poros utama memberikan respon kecepatan yang berupa fungsi cosinus, sedangkan perubahan frekuensi putaran pada poros utama berpengaruh terhadap besar amplitudo kecepatan. Hal ini akan lebih jelas terlihat pada “Gambar (4b)”, di mana besar amplitudo kecepatan sebanding dengan frekuensi putaran poros utama.

Untuk respon percepatan dapat dilihat seperti pada “Gambar (5a)”. Dari gambar ini terlihat bahwa perubahan sudut pada poros utama memberikan respon percepatan yang berupa fungsi sinus, sedangkan perubahan frekuensi putaran pada poros utama berpengaruh terhadap besar amplitudo percepatan. Hal ini akan lebih jelas terlihat pada “Gambar (5b)”, di mana besar amplitudo percepatan meningkat secara kuadratik terhadap frekuensi putaran poros utama.



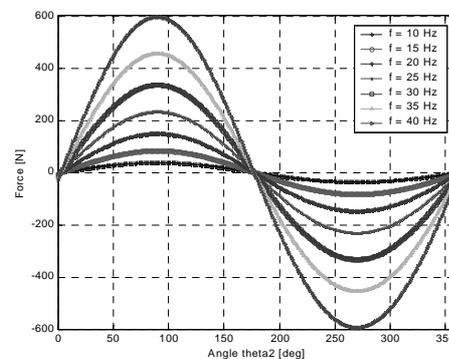
(a)



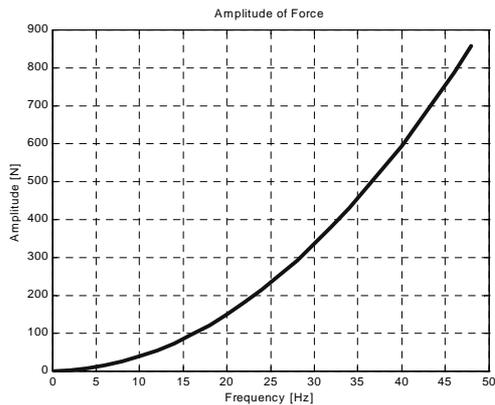
(b)

Gambar 5 (a) Respon percepatan dan (b) pengaruh frekuensi putaran terhadap amplitudo percepatan

Khusus untuk analisis gaya inersia yang timbul pada batang-4 diperlihatkan pada “Gambar (5)”. Dari gambar ini terlihat bahwa perubahan sudut pada poros utama memberikan gaya inersia yang berupa fungsi sinus, sedangkan perubahan frekuensi putaran pada poros utama berpengaruh terhadap besar amplitudo percepatan. Hal ini akan lebih jelas terlihat pada “Gambar (4b)”, di mana besar amplitudo gaya inersia meningkat secara kuadratik terhadap frekuensi putaran poros utama. Dari “Gambar (4a)” dapat disimpulkan bahwa gaya inersia sebanding dengan besar percepatan tetapi arahnya melawan arah percepatan



(a)

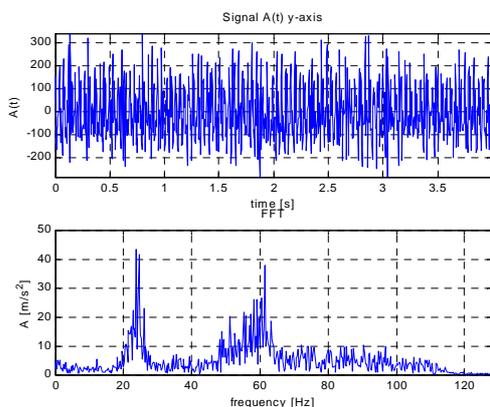


(b)

Gambar 5 (a) Grafik gaya inersia dan (b) pengaruh frekuensi putaran terhadap gaya inersia

3.2 Hasil Eksperimental

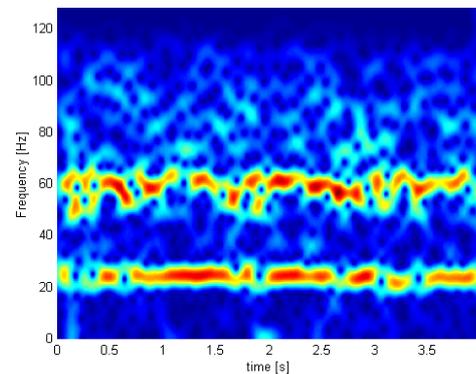
Dalam pengujian, respon dari meja getar diukur dengan menggunakan akselerometer dan sinyalnya dicuplik dengan menggunakan Pulse Analyzer B&K 3560C. Pada pengujian ini frekuensi putaran poros utama adalah 24.5 Hz, dan hasil yang diperoleh ditampilkan pada “Gambar (6)”. Pada gambar tersebut ditampilkan sinyal percepatan dalam domain waktu dan domain frekuensi. Pada gambar tersebut terlihat bahwa frekuensi yang dominan muncul pada frekuensi 24.5 Hz, tetapi pada frekuensi dalam range 48 – 62 Hz juga muncul sinyal-sinyal dengan amplitudo yang cukup besar di mana hasil ini berbeda dengan hasil yang diperoleh dari simulasi. Di samping itu secara keseluruhan pada sinyal tersebut juga muncul *noise*. Munculnya sinyal-sinyal yang tidak diharapkan tersebut kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya ketidaksempurnaan pemasangan dalam sistem poros engkol dan adanya gesekan yang terjadi pada sambungan pin.



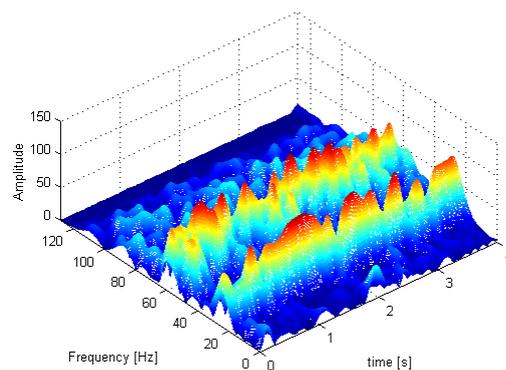
Gambar 6 Sinyal dari meja getar dalam domain waktu dan domain frekuensi

Pada “Gambar (7)” ditampilkan sinyal dalam bentuk spektrogram sebagai hasil dari STFT. Lebar window yang digunakan adalah $w = 40$ dan $m = 1$,

sedangkan jenis *windowing* yang digunakan adalah *hanning*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sinyal utama dengan frekuensi 24.5 Hz tidak selalu muncul di sepanjang waktu pengukuran. Demikian juga halnya sinyal dengan frekuensi yang berada dalam range 45 – 65 Hz juga terjadi secara tidak beraturan baik frekuensi yang muncul maupun besar amplitudonya.



(a)



(b)

Gambar 7 Sinyal hasil STFT

4. KESIMPULAN

Secara teoritik, *prototype* meja getar ini memiliki satu derajat kebebasan dalam arah vertikal, sehingga sinyal yang muncul hanya berupa satu sinyal sinus murni dengan frekuensi tergantung pada kecepatan putaran poros utama. Sedangkan dalam eksperimen, getaran yang terukur dalam arah vertikal tidak hanya memiliki frekuensi dominan yang sama dengan frekuensi putaran poros utama, tetapi juga menghasilkan frekuensi-frekuensi lainnya termasuk *noise*. Berdasarkan analisis ini dapat disimpulkan bahwa *prototype* meja getar ini belum dapat digunakan sebagai *shaker* dalam uji getaran dengan fungsi gangguan sinusoidal, tapi meja getar ini masih dapat difungsikan jika digunakan sebagai *shaker* dengan fungsi gangguan dalam bentuk sinyal acak dengan frekuensi dominan pada frekuensi sekitar 25 Hz dan 60 Hz.

PUSTAKA

1. **Akmal, J.; Bur, M.,** *Meja Getar Satu Derajat Kebebasan (Perancangan, Pembuatan dan Pengujian)*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, 1997.
2. **Malta, J.; Abidin, Z.; Bagiasna, K.,** *Analisis Getaran Transien pada Sistem Dinamik Dua Derajat Kebebasan dengan Metode Transformasi Fourier Waktu Pendek*, Proceeding Experimental and Theoretical Mechanics (ETM), Institut Teknologi Bandung, pp. 123-127 (Juni 2001).
3. **Malta, J.; Rusli, M.,** *Prototype of Single Degree of Freedom Shaking Table*, Research Report of Self Development Project Funding (SDPF) HEDS/DIKTI Project FY, 2002.
4. **McConnel, K.G.,** *Vibration Testing Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc., New York., 1995.
5. **Norton, R.L.,** *Design of Machinery* second edition, McGraw-Hill, Boston, 1999.
6. **Suharto, D.; K. Rifian,** *Analisis Kinematika dengan Bantuan Komputer*. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung, 1997.
7. **Suharto, D.; K. Rifian,** *Analisis Dinamik Mekanisme dengan Bantuan Komputer*. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung, 1997.

Curriculum Vitae

Jhon Malta, ST., MT. ; Lahir di Bukittinggi, 28 Januari 1976, Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, menyelesaikan S1 Teknik Mesin UNAND tahun 1999 dan S2 Teknik Mesin ITB tahun 2001.